

Tata cara perbandingan hasil simulasi model aliran air tanah terhadap informasi lapangan



© BSN 2012

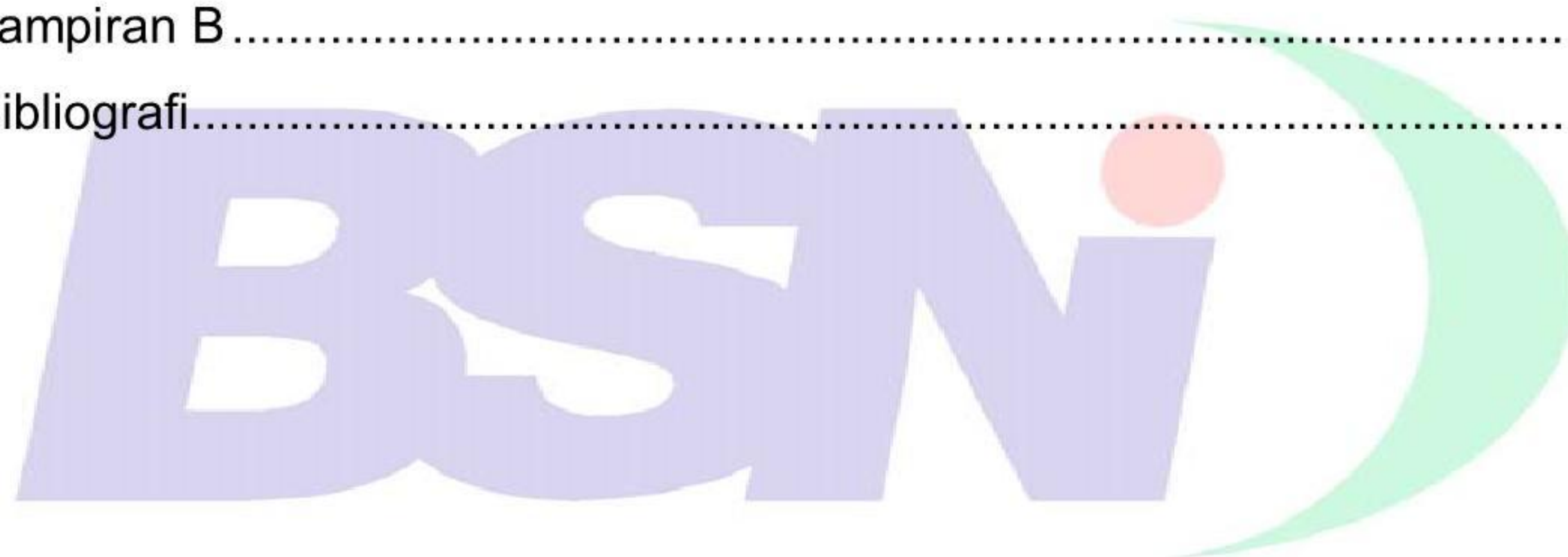
Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN
Gd. Manggala Wanabakti
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.
Telp. +6221-5747043
Fax. +6221-5747045
Email: dokinfo@bsn.go.id
www.bsn.go.id

Diterbitkan di Jakarta

Daftar isi

Daftar isi	i
Prakata	ii
Pendahuluan	iii
1 Ruang lingkup	1
2 Acuan normatif	1
3 Istilah dan definisi	1
4 Persyaratan	3
5 Prosedur perbandingan	4
6 Pelaporan	9
Lampiran A	10
Lampiran B	12
Bibliografi	17



Prakata

Standar tata cara perbandingan hasil simulasi model aliran air tanah terhadap informasi spesifik lapangan membahas teknik kuantitatif dan kualitatif yang harus digunakan dalam proses kalibrasi model aliran air tanah, yaitu untuk membandingkan hasil-hasil dari simulasi model aliran air tanah terhadap data pengukuran di lapangan. Perbandingan ini menghasilkan ukuran derajat keterkaitan antara hasil simulasi dan informasi lapangan yang berkaitan dengan sistem hidrogeologi fisik.

Perumusan standar ini masuk dalam Gugus Kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Air Tanah dan Air Baku pada Subpanitia Teknis 91-01-S1 Sumber Daya Air. Standar ini dilakukan melalui proses rapat konsensus dan Konsensus ulang pada November 2011 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknis yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait. Penulisan standar ini mengacu kepada PSN 08:2007 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

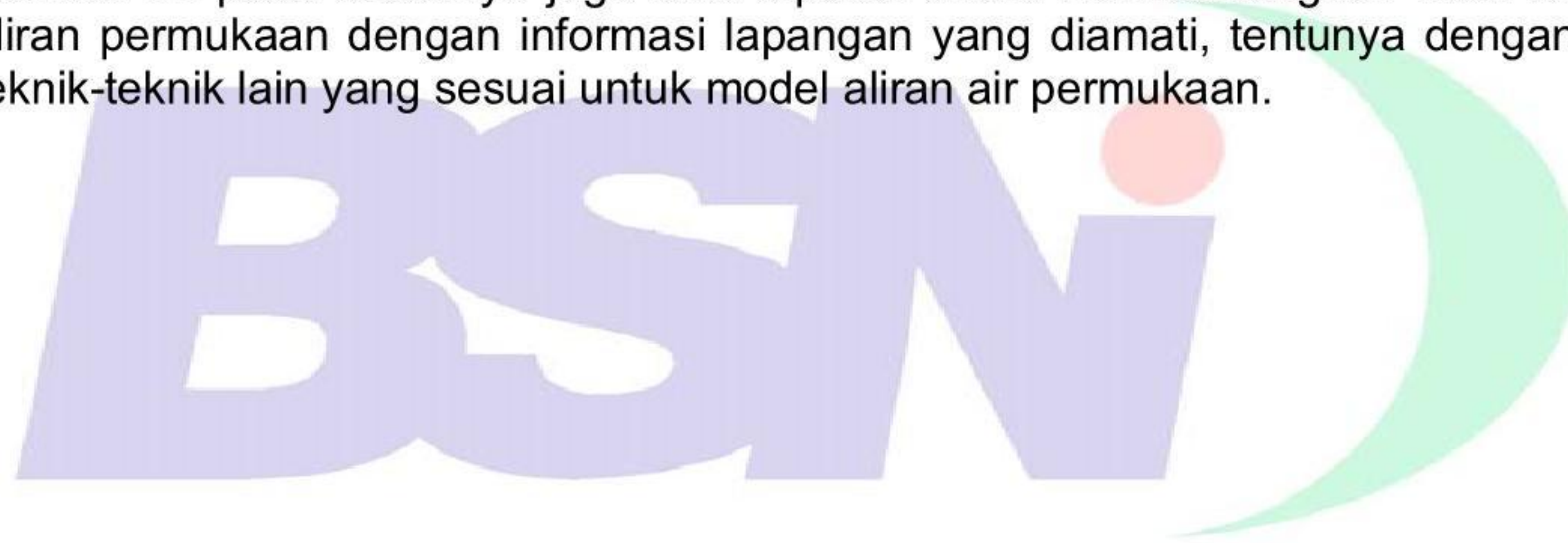


Pendahuluan

Standar ini merupakan salah satu dari standar-standar mengenai penerapan program model aliran air tanah. Standar ini khusus menguraikan teknik yang harus dipakai untuk membandingkan hasil-hasil dari simulasi model aliran air tanah terhadap data pengukuran lapangan sebagai bagian dari suatu proses kalibrasi model aliran air tanah. Perbandingan ini menghasilkan ukuran-ukuran kuantitatif dan kualitatif dari derajat keterkaitan antara hasil simulasi dan informasi spesifik lapangan yang berkaitan dengan sistem hidrogeologi fisik. Dengan perbandingan ini diharapkan bisa diperoleh hasil proses kalibrasi yang optimal sesuai dengan kriteria yang ditetapkan. Penetapan kriteria tidak termasuk dalam ruang lingkup standar ini.

Meskipun standar ini bertujuan untuk membandingkan hasil-hasil model aliran air tanah numerik dengan informasi lapangan yang diamati, teknik ini juga bisa diterapkan terhadap tipe model aliran air tanah lainnya seperti model analitis, model aliran multifase, model nonkontinum (yaitu model untuk aliran di daerah karst atau aliran di dalam retakan-retakan batuan), dan model transpor massa.

Standar ini pada dasarnya juga bisa dipakai untuk membandingkan hasil-hasil dari model aliran permukaan dengan informasi lapangan yang diamati, tentunya dengan penambahan teknik-teknik lain yang sesuai untuk model aliran air permukaan.



Tata cara perbandingan hasil simulasi model aliran air tanah terhadap informasi lapangan

1 Ruang lingkup

Standar ini membahas teknik kuantitatif, dan kualitatif yang menghasilkan ukuran derajat keterkaitan antara hasil simulasi model aliran air tanah, dan informasi lapangan berupa data pengukuran, yang digunakan dalam proses kalibrasi model aliran air tanah.

2 Acuan normatif

- SNI 03-6436-2000 : Metode pengujian sumur injeksi, dan pemompaan untuk penentuan sifat hidrolik akuifer.
- SNI 19-6744-2002 : Tata cara pemilihan metode uji sifat hidrolik dengan teknik sumur.
- SNI 19-6739-2002 : Metode pengujian untuk penentuan kapasitas jenis, dan penaksiran transmisivitas pada sumur uji.
- SNI 19-6743-2002 : Metode pengujian sifat hidrolik akuifer dengan cara Theis.
- SNI 19-6740-2002 : Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara pemulihan Theis.
- SNI 19-6741-2002 : Metode pengujian untuk penentuan transmisivitas akuifer tertekan dengan cara uji kolom air.
- SNI 19-6742-2002 : Metode pengujian kolom air di lapangan untuk penentuan sifat-sifat hidrolik akuifer.
- ASTM D 5490-93 : *Standard guide for comparing groundwater flow model simulations to site-specific information.*
- ASTM D 5447-93 : *Standard guide for application of a groundwater flow model to a site-specific problem.*

3 Istilah dan definisi

3.1

Model konseptual

suatu gambaran kerja dinamika, dan karakteristik sistem fisik yang ditinjau.

3.2

Model aliran air tanah

model matematik yang diterapkan untuk mewakili secara spesifik sistem aliran air tanah yang ditinjau.

3.3

Model matematik

persamaan–persamaan matematik sistem fisik, termasuk di dalamnya asumsi-asumsi yang disederhanakan,, dan keterwakilan sistem fisik oleh pernyataan matematik mengenai perilaku dari sistem tersebut.

3.4

Kondisi batas

suatu ekspresi matematik keadaan sistem fisik yang merupakan pembatas-pembatas yang menyatu ke dalam model matematik tersebut.

3.5

Kalibrasi

proses dalam aplikasi model yang bertujuan menghaluskan representasi model kerangka hidrogeologi, sifat hidraulik, dan kondisi batas, untuk mencapai derajat kedekatan hubungan yang diinginkan antara hasil simulasi model, dan hasil pengamatan dari sistem aliran air tanah.

3.6

Program komputer

kumpulan pernyataan teknik numerik model matematik dengan menggunakan bahasa program pengendali mesin komputer agar model dapat menerima data masukan (*input*), dan dapat melakukan instruksi untuk menghasilkan keluaran (*output*).

3.7

Verifikasi program

pengujian perangkat lunak atau program komputer dengan cara melakukan perbandingan antara hasil penerapannya terhadap hasil pemecahan analitis, dan hasil penerapan program serupa lainnya untuk memeragakan bahwa program ini mempunyai dasar matematik yang kuat.

3.8

Verifikasi penerapan

penggunaan serangkaian nilai-nilai parameter, dan kondisi batas model yang dikalibrasi terhadap serangkaian data lapangan yang diukur di bawah kondisi hidrologi yang sama.

3.9 Sensitivitas adalah derajat kepekaan hasil model untuk dipengaruhi oleh perubahan-perubahan yang dipilih, dan diterapkan di dalam *input* model, yang mewakili kerangka hidrogeologi, sifat hidraulik, dan kondisi batas.

3.10

Data tersensor

nilai perkiraan variabel sistem hidrogeologi fisik yang kurang dari atau lebih dari suatu harga tertentu tanpa mengetahui nilai sesungguhnya. (Sebagai contoh ketika suatu sumur dalam keadaan kering, dan tidak mengandung air nilai spesifiknya tidak diketahui, namun diartikan bahwa tinggi tekan pisometrik pada waktu, dan tempat ini harus kurang dari elevasi interval saringan sumur).

3.11

Nilai residual

selisih antara nilai yang dihitung, dan nilai yang diamati suatu variabel pada waktu, dan lokasi yang spesifik.

3.12

Simulasi

pelaksanaan lengkap penerapan dari suatu program komputer model aliran air tanah termasuk masukan (*input*), dan keluaran (*output*).

3.13

Kondisi hidrologi

suatu rangkaian aliran masuk, dan keluar air tanah, kondisi batas,, dan sifat-sifat hidraulik, yang menyebabkan tinggi tekan pisometrik menunjukkan suatu pola yang tegas.

4 Persyaratan

Selama proses kalibrasi model aliran air tanah, masing-masing hasil simulasi harus dibandingkan secara kuantitatif, dan kualitatif terhadap informasi lapangan, yaitu muka air atau laju aliran yang diukur. Derajat keterkaitan hasil suatu simulasi sistem hidrogeologi fisik ini dapat juga dibandingkan terhadap hasil simulasi sebelumnya. Hal itu dilakukan untuk menentukan tingkat keberhasilan dari usaha kalibrasi sebelumnya tersebut, dan memberikan identifikasi arah yang tepat dari usaha kalibrasi selanjutnya. Standar ini tidak menetapkan apakah serangkaian data observasi yang ada telah mempunyai tingkat kecukupan (*adequacy*) yang memadai untuk mengarakteristikan kondisi lapangan tersebut. Standar ini juga tidak menguraikan penetapan kriteria tingkat keberhasilan proses kalibrasi, dan juga tidak menguraikan teknik penentuan kriteria tersebut.

Selama proses kalibrasi model aliran air tanah, tiap-tiap hasil simulasi dibandingkan terhadap informasi lapangan untuk menetapkan tingkat keberhasilan usaha kalibrasi sebelumnya, dan mengidentifikasi arah yang paling potensial untuk usaha kalibrasi lanjutan. Teknik perbandingan tidak bersifat kaku sehingga teknik lain yang sesuai bisa digunakan. Setelah dilakukan peninjauan yang teliti, sejumlah teknik bahkan bisa dihapus, dihilangkan, atau diperkuat. Kedua teknik perbandingan kuantitatif, dan kualitatif yang sama pentingnya ini bisa dijelaskan sebagai berikut.

4.1 Teknik kuantitatif

Teknik kuantitatif yang harus dilakukan meliputi:

- a) Penghitungan nilai residual, dan penghitungan statistik nilai residual dari tinggi tekan potensiomatrik
Data tersensor dari sumur pengamatan yang mengalir bebas maupun yang kering juga harus ikut digunakan,, yaitu yang memberikan informasi bahwa tinggi tekan adalah kurang dari atau lebih dari suatu nilai tertentu, tanpa mengetahui nilainya yang pasti.
- b) Pendeteksian korelasi antarnilai residual
Korelasi spasial, dan temporal di antara nilai-nilai residual harus diselidiki. Korelasi antar-nilai residual, dan tinggi tekan potensiomatrik bisa dideteksi dengan menggunakan suatu grafik sebaran (*scattergram*).
- c) Penghitungan nilai residual aliran
Hasil aliran model harus dibandingkan dengan data aliran, termasuk pula penghitungan neraca air, laju aliran permukaan, debit sumur yang mengalir, kemiringan vertikal, dan lintasan bahan pencemar.

4.2 Teknik kualitatif

Teknik kualitatif yang harus dilakukan meliputi:

- a) Perbandingan gambaran aliran secara umum
Simulasi harus menghasilkan gambaran kualitatif dari pola kontur air tanah, arah aliran air tanah, tonjolan atau lekukan,, dan kontur tertutup atau indikasi terdapatnya aliran air permukaan atau aliran imbuhan.

- b) Pengkajian kondisi hidrogeologi yang mencolok dari model yang berhasil dikalibrasi
Kalibrasi dengan berbagai skenario ganda dilakukan jika kondisi benar-benar mencolok.
- c) Pengkajian tingkat pembenaran dari sifat hidrologi perwakilan model material akuifer
Sifat hidrologi akuifer yang dimodelkan harus berada dalam kisaran realistis sistem hidrogeologi fisik seperti yang ditetapkan selama pengembangan model konseptual.

5 Prosedur pembandingan

5.1 Teknik kuantitatif

Teknik kuantitatif meliputi penghitungan nilai residual tinggi tekan potensiomatik, penaksiran terdapatnya korelasi antar-nilai residual tinggi tekan, dan penghitungan nilai residual aliran.

- a) Prosedur penghitungan nilai residual tinggi tekan potensiomatik

Hitung nilai residual tinggi tekan dengan menggunakan rumus berikut.

$$r_i = h_i - H_i \dots\dots\dots (1)$$

dengan pengertian:

r_i adalah nilai residual pada titik i

H_i adalah tinggi tekan yang diukur pada titik i .

h_i adalah tinggi tekan yang dihitung pada lokasi terdekat dengan tempat di mana dilakukannya pengukuran H_i

Catatan 1 :

Jika nilai residual positif, tinggi tekan yang dihitung terlalu tinggi. Jika nilai residual negatif tinggi tekan yang dihitung terlalu rendah. Nilai residual tidak boleh dihitung dari data tersensor.

Untuk model surutan, sebaiknya digunakan nilai residual surutan, yakni surutan yang dihitung, dan yang diukur, dan sebaiknya pembandingan yang dilakukan tidak menggunakan tinggi tekan.

Pembandingan harus dibuat antara tinggi-tinggi tekan potensiomatik titik dibandingkan dengan penggunaan kontur air tanah. Kontur merupakan hasil interpretasi dari titik-titik data, dan dianggap bukan merupakan data dasar. Lagi pula kontur air tanah merupakan refleksi gambaran model konseptual dari kondisi setempat. Model aliran air tanah harus diusahakan lebih menggambarkan kondisi yang sesungguhnya, dan bukan merupakan gambaran esensial model konseptual serta bukan pula representasinya.

Pembentukan model harus sedemikian rupa sehingga bisa dihitung tinggi tekan pada waktu, dan lokasi di mana tinggi tekan diukur, namun hal ini tidak selalu memungkinkan. Dalam kasus lokasi dari sumur pengamatan tidak tepat berada pada salah satu dari simpul-simpul yang tinggi tekannya dihitung dalam simulasi, maka nilai residual mungkin bisa disesuaikan. Misalnya tinggi tekan yang dihitung bisa diinterpolasi, diekstrapolasi, diskala atau ditransform untuk dimanfaatkan dalam penghitungan statistik. Penyesuaian diperlukan ketika saat pengukuran tidak tepat bersamaan dengan waktu pada saat tinggi tekan dihitung pada simulasi tak langgeng. Demikian juga apabila banyak tinggi tekan yang diamati berkelompok dekat suatu simpul tunggal, yang perubahan gradien hidrauliknya berubah secara signifikan dari satu simpul ke simpul lain atau apabila data tinggi tekan yang diamati dipengaruhi oleh fluktuasi pasang surut atau dekat dengan batas tinggi tekan yang ditetapkan.

- b) Prosedur penghitungan statistik nilai residual

Hitung nilai residual maksimum, minimum, dan rata-rata serta penghitungan statistik orde kedua, yang digambarkan berikut ini:

1) Nilai residual maksimum, dan minimum

Nilai residual maksimum adalah nilai residual yang terdekat dengan positif tak terhingga, sedangkan nilai residual minimum adalah nilai residual yang terdekat dengan negatif tak terhingga. Dari dua simulasi, yaitu satu yang dengan nilai residual maksimum, dan yang satu lagi dengan nilai residual minimum, yang terdekat dengan nol mempunyai derajat keterkaitan yang lebih baik dalam kaitannya dengan kriteria ini.

Apabila kondisi hidrologi bersifat ganda dimodelkan untuk simulasi kondisi langgeng secara terpisah, nilai residual maksimum, dan minimum bisa dihitung untuk tiap-tiap nilai residual atau semua nilai residual seluruh skenario. Hal ini juga berlaku untuk nilai residual rata-rata yang dapat dilihat dalam uraian dalam butir 2), dan statistik orde kedua dari nilai residual dalam uraian butir 4).

2) Nilai residual rata-rata

Hitung nilai residual rata-rata yakni sebagai rata-rata aritmatik dari nilai residual:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n r_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

dengan pengertian:

R nilai residual rata-rata

n banyaknya nilai residual

Dari dua simulasi yang dilakukan diketahui bahwa simulasi dengan nilai residual rata-rata terdekat dengan nol mempunyai derajat keterkaitan yang lebih baik berdasarkan kriteria ini dengan menganggap tidak terdapat korelasi antarnilai residual.

3) Nilai residual rata-rata dengan pembobotan

Jika diperlukan, nilai residual individual bisa dibobotkan guna memperhitungkan derajat kepercayaan yang berbeda pada tinggi tekan yang diukur sehingga nilai residual rata-rata yang di beri bobot adalah seperti berikut ini.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n w_i r_i}{n \sum_{i=1}^n w_i} \dots\dots\dots (3)$$

dengan pengertian:

w_i faktor bobot dari nilai residual pada titik i

Faktor bobot bisa didasarkan pada keyakinan pemodel atau ukuran statistik variabilitas pengukuran muka air. Faktor bobot yang lebih tinggi harus diberikan pada pengukuran dengan derajat keyakinan yang tinggi dibandingkan dengan derajat keyakinan yang lebih rendah.

Kemungkinan nilai residual positif yang besar, dan nilai residual negatif yang besar bisa ditiadakan agar menghasilkan suatu nilai residual rata-rata yang kecil. Untuk alasan inilah nilai residual rata-rata tidak pernah ditinjau tersendiri, tetapi selalu dikaitkan dengan perbandingan kuantitatif, dan kualitatif lainnya.

4) Statistik orde kedua

Statistik orde kedua memberikan ukuran besarnya pencaran dari nilai residual sekitar nilai residual rata-rata. Penghitungan statistik orde kedua yang paling umum digunakan adalah simpangan baku dari nilai residual berikut ini:

$$s = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (r_i - R)^2}{n-1} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (4)$$

dengan pengertian :

s simpangan baku dari nilai residual

Simpangan baku dengan angka-angka yang kecil menunjukkan suatu derajat keterkaitan yang lebih baik jika dibandingkan dengan angka-angka yang lebih besar.

5) Statistik orde kedua dengan pembobotan

Jika pembobotan digunakan, hitung deviasi standar terbobot berdasarkan :

$$s = \left\{ \frac{\sum w_i (r_i - R)^2}{(n-1) \sum_{i=1}^n w_i} \right\}^{1/2} \dots\dots\dots (5)$$

Bentuk nilai residual lainnya jarang digunakan, dan tidak bersifat umum, tetapi bisa muncul pada kasus-kasus tertentu. Sebagai contoh rata-rata angka absolut dari nilai residual bisa memberikan informasi yang serupa dengan yang diberikan oleh simpangan baku dari nilai residual.

Dalam menghitung simpangan baku nilai residual, teknik statistik yang lebih maju memasukkan informasi dari data yang tersensor. Akan tetapi, usaha ini biasanya tidak dijustifikasi karena simpangan baku nilai residual hanyalah salah satu dari banyak indikator yang terlibat di dalam pembandingan dari data yang diukur dengan data simulasi lagipula penghalusan di dalam satu indikator tidak mungkin mengubah perkiraan keseluruhan derajat keterkaitannya

c) Prosedur korelasi antar nilai residual dengan nilai residual lainnya

Korelasi spasial, dan temporal antar nilai-nilai residual bisa menunjukkan terdapatnya kecenderungan-kecenderungan sistematis atau bias di dalam model. Korelasi antar nilai residual bisa diidentifikasi melalui senarai (*listing*), grafik sebaran, plot spasial, dan temporal. Dari dua simulasi diperoleh hasil bahwa simulasi yang memiliki korelasi antarnilai residual yang kurang akan mempunyai derajat keterkaitan yang lebih baik berdasarkan kriteria ini.

1) Senarai

Buat daftar nilai residual untuk setiap sumur, dan pisometer termasuk angka-angka yang diukur, dan dihitung guna mendeteksi kecenderungan parsial, dan temporal. Tabel A.1, dan A.2 dalam Lampiran A menunjukkan contoh senarai nilai residual ini.

2) Grafik sebaran

Gunakan grafik sebaran tinggi tekan yang dihitung versus yang diukur untuk mendeteksi kecenderungan dalam deviasinya, yang dibuat dengan menempatkan tinggi tekan yang diukur pada sumbu horizontal (absis), dan tinggi tekan yang dihitung pada sumbu vertikal (ordinat).

Satu titik di plot pada gambar ini untuk setiap pasangannya. Jika terdapat titik-titik yang berderet sepanjang satu garis lurus dengan titik potong nol, dan bersudut 45° , maka telah terjadi keterpaduan yang sempurna. Namun, biasanya selalu terjadi pemencaran hasil plot terhadap garis ini. Suatu simulasi dengan derajat pemencaran yang kecil di sekitar garis tersebut mempunyai suatu keterkaitan yang lebih baik dengan sistem hidrogeologi fisik dibandingkan dengan suatu simulasi yang mempunyai derajat pemencaran yang lebih besar. Sebagai tambahan titik-titik yang di plot di sebarang daerah grafik sebaran tidak berada berkelompok di atas atau di bawah garis. Gambar B.1, dan B.2 dalam Lampiran B menunjukkan contoh *scattergram*.

3) Korelasi spasial

Plot nilai residual pada denah yang dipakai untuk mengidentifikasi kecenderungan spasial dalam nilai residual. Dalam plot ini nilai residual termasuk tanda yang terkait, di plot pada peta lokasi atau penampang melintang. Jika memungkinkan, bisa juga dibuat kontur nilai residualnya. Korelasi spasial dalam nilai residual bisa menunjukkan suatu kebutuhan untuk menghaluskan parameter akuifer atau kondisi batas atau bahkan mengevaluasi ulang model konseptual (misalkan tambahkan dimensi spasial atau proses fisiknya). Sebagai contoh: jika seluruh nilai residual berada di sekeliling batas *impermeable* (kedap air atau tanpa aliran) adalah positif, maka imbuhan (*recharge*) bisa dikurangi atau kelulusan hidraulik bisa ditambah. Gambar B.3 dalam Lampiran B menunjukkan contoh suatu plot kontur nilai residual dalam denah. Gambar B.4 dalam Lampiran B menampilkan suatu contoh dari plot nilai residual dalam penampang melintang.

4) Korelasi temporal

Untuk simulasi tak langgeng, plot nilai residual (pada satu titik tunggal) versus waktu yang dipakai untuk mengidentifikasi suatu kecenderungan temporal. Korelasi temporal di dalam nilai residual dapat menunjukkan kebutuhan untuk menghaluskan input akuifer, yaitu sifat kandungan air atau kondisi awalnya. Pada Gambar B.5 dalam Lampiran B diperlihatkan plot tipikal nilai residual versus waktu.

d) Prosedur nilai residual aliran

Seringkali informasi yang berkaitan dengan kecepatan air tanah tersedia pada lokasi yang bersangkutan, termasuk di antaranya neraca air, laju aliran air permukaan, debit sumur, gradien vertikal, dan lintasan bahan pencemar (lintasan aliran air tanah). Semua besaran ini tergantung pada kemiringan hidraulik (*direvatif spasial*) dari tinggi tekan potensiometrik. Besaran-besaran ini berkaitan dengan struktur keseluruhan pola tinggi tekan potensiometrik, dan memberikan informasi dari tinggi tekan titiknya yang tidak tersedia pengukurannya. Untuk setiap datum yang tersedia, hitung nilai residual antara angka-angka yang dihitung, dan yang diukur. Jika memungkinkan, lakukan penghitungan statistik pada nilai-nilai residual ini, dan perkirakan korelasinya untuk nilai residual tinggi tekan potensiometrik.

1) Keseimbangan masa, dan neraca air

Untuk elemen atau unsur-unsur neraca air dari lokasi yang dihitung (sebagai lawan dari ditetapkan di dalam input model), misalnya aliran dasar ke sungai, maka

bandingkan angka-angka yang dihitung dengan yang diukur. Sebagai tambahan periksa keseimbangan masa yang dihitung dari simulasi dengan membandingkan jumlah seluruh aliran masuk, dan jumlah seluruh aliran keluar, dan perubahan yang terjadi di dalam tampungan. Perbedaan lebih dari beberapa persen saja dalam penghitungan keseimbangan massa menunjukkan problem numerik yang mungkin saja terjadi, dan bisa menyebabkan hasil simulasi menjadi tidak berlaku.

2) Gradien vertical

Di dalam beberapa model sangat penting untuk menyatakan secara tepat selisih tinggi tekan antara di atas, dan di bawah suatu lapisan pengeang, dibandingkan untuk menghasilkan tinggi tekannya sendiri. Dalam kasus demikian, bisa diterima adanya toleransi suatu korelasi antara nilai residual tinggi tekan di atas, dan di bawah lapisan tersebut jika nilai residual di dalam gradien vertikal diminimumkan.

3) Lintasan aliran air tanah

Di dalam beberapa model boleh jadi lebih penting untuk menghasilkan suatu pola garis arus di dalam sistem aliran air tanah dibandingkan dengan mereproduksi tinggi tekannya sendiri (sebagai contoh apabila pada suatu model aliran digunakan kecepatan dalam model transpor zat pencemar sebagai input). Dalam kasus ini, seperti halnya dalam kasus gradien vertikal, bisa diterima adanya toleransi beberapa korelasi di dalam nilai residual tinggi tekan jika nilai residual kecepatan air tanah, yaitu besar, dan arahnya telah diminimumkan.

5.2 Teknik kualitatif

5.2.1 Gambaran umum aliran

Suatu kriteria untuk mengevaluasi derajat keterkaitan antara hasil simulasi model aliran air tanah dan sistem hidrogeologi fisik adalah apakah penting gambaran kualitatif permukaan potensiometrik tercermin di dalam model atau tidak. Keseluruhan pola dari arah aliran, dan variasi temporal dalam model pada lokasi yang bersangkutan harus sesuai dengan gambaran itu. Contoh:

- Jika terdapat suatu tonjolan atau depresi di dalam permukaan potensiometrik pada suatu lokasi, kontur model harus menunjukkan suatu tonjolan atau depresi yang menyerupai di dalam daerah yang sama.
- Jika tinggi tekan yang diukur menunjukkan bentuk kait di dalam kontur air tanah di sekitar sungai, gambaran tersebut juga harus muncul dalam kontur tinggi tekan yang dimodelkan.

5.2.2 Kondisi hidrologi

Lakukan identifikasi kondisi-kondisi hidrologi yang berbeda yang diwakili oleh serangkaian data yang tersedia. Pilih serangkaian data kondisi hidrologi masing-masing untuk digunakan dalam kalibrasi, dan gunakan serangkaian data sisanya untuk verifikasi.

a) Keunikan

Suatu kondisi hidrologi yang mencolok atau keunikan sifat hidrologi akuifer yang diberikan oleh serangkaian input mampu untuk menghasilkan ukuran kualitatif kinerja model. Biasanya lebih baik kalibrasi dilakukan untuk berbagai kondisi jika kondisi ini benar-benar sangat mencolok. Berbagai kondisi hidrologi yang berbeda (tetapi tidak harus dibatasi) termasuk diantaranya tinggi, dan rendahnya imbuhan, kondisi sebelum, dan sesudah pomompaan atau terdapatnya dinding penghalang, pasang surut, tinggi banjir air

permukaan, atau sistem drainase. Dengan memadukan berbagai kondisi hidrologi yang berbeda, keterunikan problem bisa dinyatakan.

b) Verifikasi (kondisi hidrologi serupa)

Bila tersedia data tinggi tekan potensiomatrik untuk dua waktu kondisi hidrologi serupa, hanya satu dari dua kondisi harus dimasukkan di dalam serangkaian data kalibrasi karena mereka tidak termasuk mencolok. Akan tetapi, serangkaian data lain dapat digunakan untuk verifikasi model. Dalam proses verifikasi, tinggi tekan potensiomatrik yang di modelkan (yang masih dipertanyakan apakah telah mewakili kondisi hidrologi) tidak dibandingkan terhadap serangkaian data kalibrasi, tetapi terhadap serangkaian data verifikasi. Derajat keterkaitan yang dihasilkan bisa diambil sebagai suatu indikator heuristik kemampuan model untuk mewakili kondisi hidrologi dalam kisaran dari model yang dikalibrasi.

Apabila hanya serangkaian data saja yang tersedia, tidak dianjurkan untuk secara artifisial memisahkannya ke dalam serangkaian data kalibrasi, dan serangkaian data verifikasi. Biasanya lebih penting melakukan kalibrasi terhadap data tinggi tekan potensiomatrik yang sedapat-dapatnya berada dalam jangkauan wilayah yang dimodelkan. Beberapa peneliti tetap menggunakan kata verifikasi yang mempunyai arti terdapatnya perolehan derajat keterpercayaan yang lebih tinggi.

5.2.3 Sifat hidraulik akuifer sebagai *input*

Suatu keterkaitan yang tinggi antara hasil simulasi model aliran air tanah dan informasi khusus setempat dalam pengertian ukuran kuantitatif kadang-kadang bisa dicapai dengan menggunakan sifat-sifat hidraulik akuifer yang tidak realistis. Ini salah satu alasan mengapa penekanan ditempatkan pada kemampuan untuk mereproduksi berbagai skenario tekanan hidrologi ganda yang mencolok. Dengan demikian, suatu pemeriksaan kualitatif atas derajat keterkaitan antara hasil simulasi, dan sistem hidrologi fisik harus termasuk dalam penafsiran kisaran yang mungkin sifat hidraulik sistem hidrogeologi fisik pada skala model, dan memeriksa apakah sifat-sifat yang digunakan berada dalam kisaran tersebut.

6 Pelaporan

Dalam laporan penerapan model aliran air tanah, yang dibuat, harus diuraikan antara lain: gambaran pelaksanaan uji pembandingan berdasarkan uraian tersebut di atas, rasionalisasi untuk memilih, dan menghilangkan uji-uji pembandingan, dan gambaran tentang hasil-hasil uji pembandingan tersebut.

Lampiran A
(informatif)
Contoh Senarai

Contoh senarai nilai residual diperlihatkan dalam Tabel A.1, dan A.2, yang memuat nilai residual untuk simulasi dua kondisi (hidrogeologi, dan hidrologi) dengan model yang sama. Perlu dicatat bahwa terdapat sumur-sumur yang tidak mempunyai data pengukuran untuk kedua simulasi ini. Tinggi tekan simulasi untuk sumur-sumur ini tetap dilaporkan semata-mata sebagai pendukung untuk mendeteksi kecenderungan temporal tinggi tekan untuk berbagai tekanan terhadap akuifer. Sejumlah data muka air tersensor ditampilkan untuk lokasi ini. Tabel ini bisa menunjukkan apakah data simulasi konsisten dengan data yang tersensor atau tidak.

Skenario tekanan 1

Simulasi no: 24-1

Penghitungan nilai residual

Banyaknya data nilai residual: 18

Nilai residual maksimum (m): 2,62 pada sumur MW-31

Nilai residual minimum (m): -2,51 pada sumur MW-5

Rata-rata nilai residual (m): 0,15

Deviasi standar nilai residual (m): 1,49

Data tersensor:

Banyaknya ketidaksamaan yang ditemukan: 1

Banyaknya ketidaksamaan yang tidak ditemukan: 1

Tabel A.1 Contoh senarai nilai residual skenario tekanan 1

Sumur No.	Tinggi tekan terukur (m)	Tinggi tekan simulasi (m)	Nilai residual (m)
MW-1	100,79	101,57	0,78
MW-2	104,52	103,14	-1,38
MW-3	103,07	101,26	-1,81
MW-4	<101,10	100,97	ya
MW-5	106,82	104,31	-2,51
MW-6	99,94	100,39	0,45
MW-7	101,43	102,84	1,41
MW-8	89,26	89,43	0,17
MW-9	89,34	87,53	-1,81
MW-10	<97,97	98,02	tidak
MW-11		96,94	
MW-12		88,60	
MW-13		91,85	
MW-14		77,57	
MW-15		103,04	
MW-16		103,12	
MW-17	95,44	97,84	2,40
MW-18		104,80	
MW-19		95,32	
MW-20		103,14	
MW-21		94,31	
MW-22	101,02	99,54	-1,48
MW-23	70,79	71,69	0,90
MW-24		99,09	
MW-25		100,80	
MW-26	98,26	98,23	-0,03
MW-27	87,44	89,03	1,59
MW-28		98,79	
MW-29	83,30	83,14	-0,16
MW-30	82,99	85,03	2,04
MW-31	95,51	98,13	2,62
MW-32	97,63	97,80	0,17
MW-33	134,02	133,46	-0,56

Skenario tekanan 2
Simulasi no: 24-2
Penghitungan nilai residual

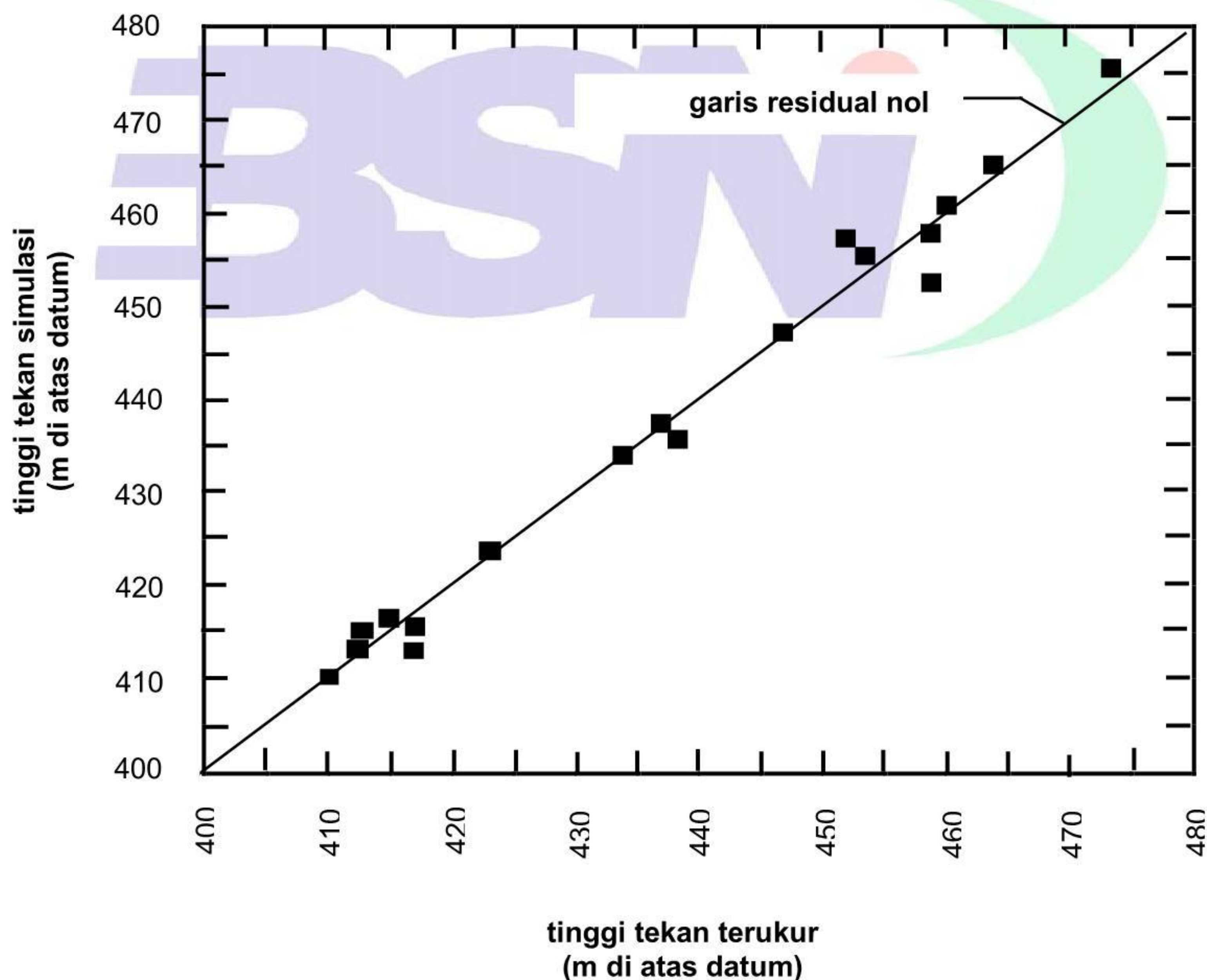
Banyaknya data nilai residual: 22
 Nilai residual maksimum (m): 2,30 pada sumur MW-24
 Nilai residual minimum (m): -2,15 pada sumur MW-20
 Rata-rata nilai residual (m): 0,15
 Deviasi standar nilai residual (m): 1,22
 Data tersensor:
 Banyaknya ketidaksamaan yang ditemukan: 2
 Banyaknya ketidaksamaan yang tidak ditemukan: 0

Tabel A.2 Contoh senarai nilai residual tekanan 2

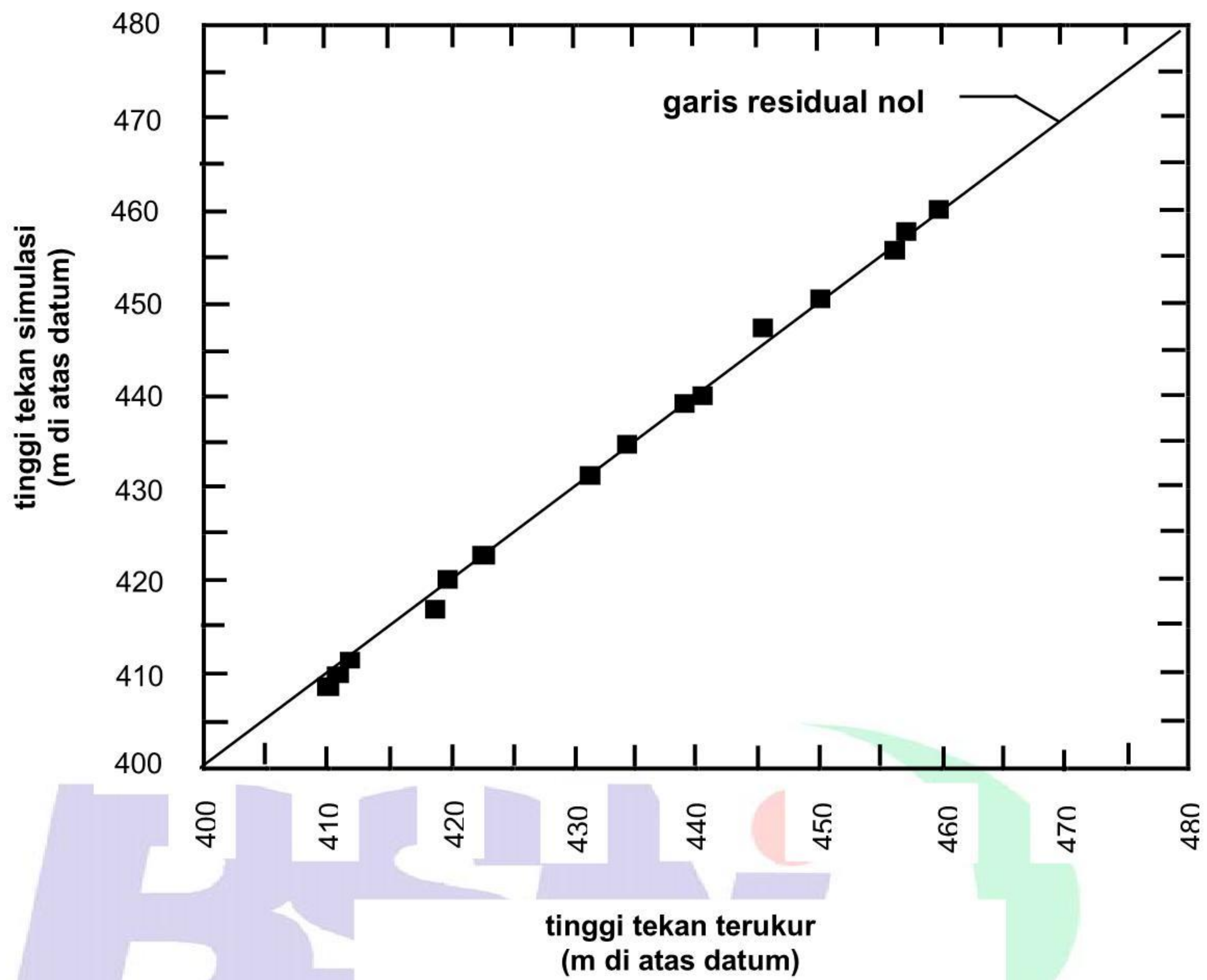
Sumur No.	Tinggi tekan terukur (m)	Tinggi tekan simulasi (m)	Nilai residual (m)
MW-1	101,72	101,11	-0,61
MW-2	98,43	98,77	0,34
MW-3	100,04	100,80	0,76
MW-4	<101,10	100,57	ya
MW-5	102,95	104,45	1,50
MW-6	100,00	100,66	0,66
MW-7	101,56	102,80	1,24
MW-8	92,24	90,42	-1,82
MW-9	90,34	88,77	-1,57
MW-10	<97,97	96,88	ya
MW-11		97,69	
MW-12		90,01	
MW-13		93,43	
MW-14		80,27	
MW-15		103,58	
MW-16		103,32	
MW-17	96,33	98,62	2,29
MW-18		105,73	
MW-19		96,65	
MW-20	105,25	103,10	-2,15
MW-21	96,10	95,11	-0,99
MW-22		99,63	
MW-23	74,01	75,21	1,20
MW-24	96,66	98,96	2,30
MW-25	98,04	98,71	0,67
MW-26	97,39	98,21	0,82
MW-27	90,11	90,48	0,37
MW-28	100,23	98,76	-1,47
MW-29	84,92	84,98	0,06
MW-30	86,15	86,88	0,73
MW-31	97,87	97,38	-0,49
MW-32	97,31	97,17	-0,14
MW-33	134,43	133,96	0,47

Lampiran B
(informatif)
Contoh grafik sebaran

Gambar B.1, dan B.2 menunjukkan contoh grafik sebaran. Grafik sebaran yang dihasilkan pada Gambar B.1 menunjukkan suatu kecocokan yang baik antara tinggi tekan potensiomatrik yang diukur dan yang dimodelkan. Hal ini dikarenakan hanya sedikit atau tidak terdapat pola antara nilai residual positif, dan negatif, dan karena besaran nilai residual kecil jika dibandingkan dengan perubahan total tinggi tekan potensiomatrik pada lokasi tersebut. Nilai residual ditunjukkan pada pada grafik sebaran dalam Gambar B.2 yang mempunyai nilai maksimum, minimum, rata-rata, dan simpangan baku yang sama, sebagaimana yang ditunjukkan pada Gambar B.1. Namun, hasilnya menunjukkan pola kemiringan ke atas nilai residual positif, dan kemiringan ke bawah nilai residual negatif. Sekalipun demikian, perbandingan statistik menunjukkan terdapatnya suatu derajat keterkaitan yang baik. Model ini mungkin terlalu berlebihan dalam perkiraan tentang kecepatan rembesan karena kemiringan hidraulik yang disimulasi lebih besar dibandingkan dengan kemiringan hidraulik yang diukur. Oleh karena itu, model ini masih perlu diperbaiki jika tinggi tekan dijadikan sebagai *input* pada model transpor massa.



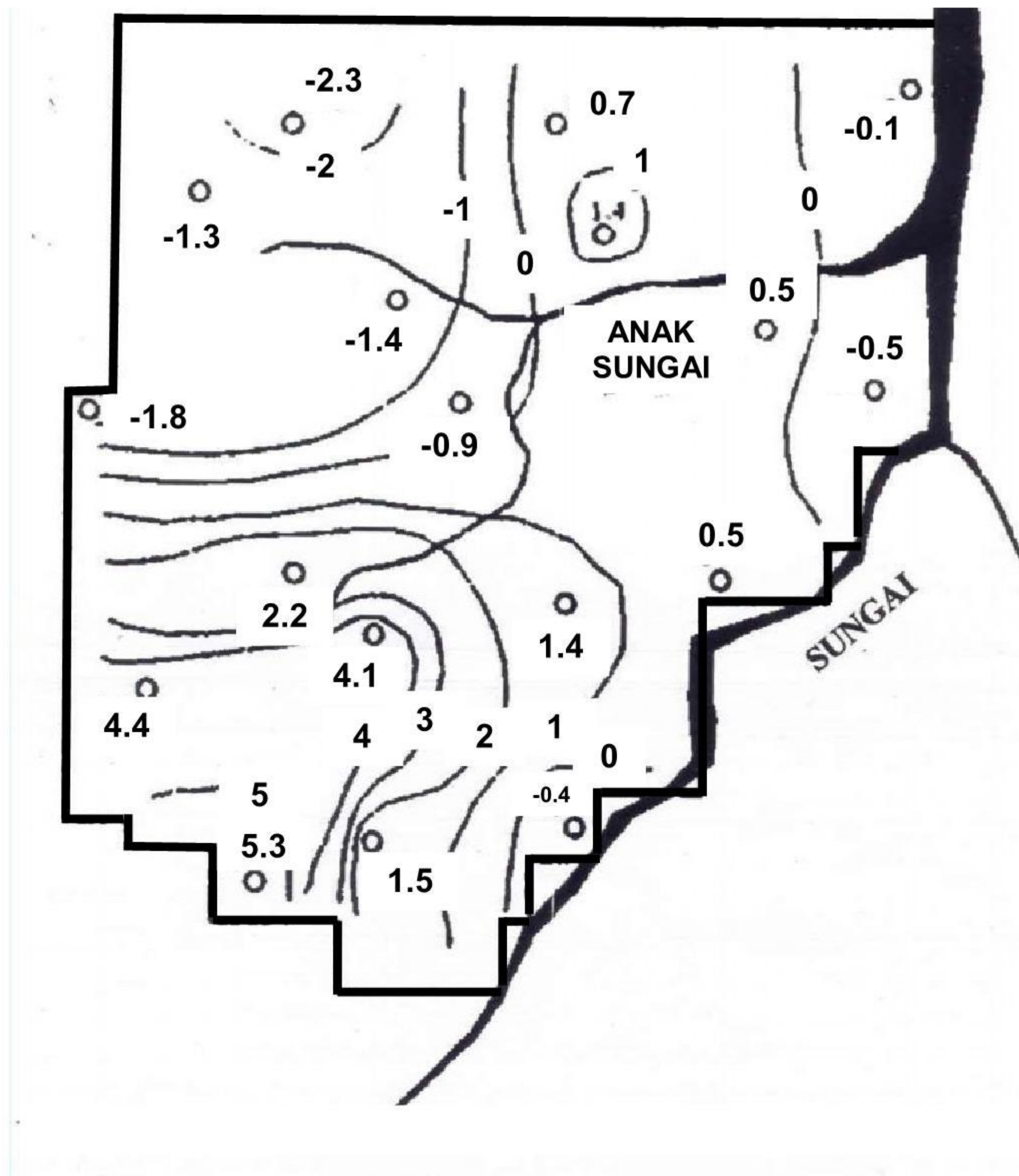
Gambar B.1 Contoh grafik sebaran tinggi tekan pisometrik yang terukur dengan hasil simulasi



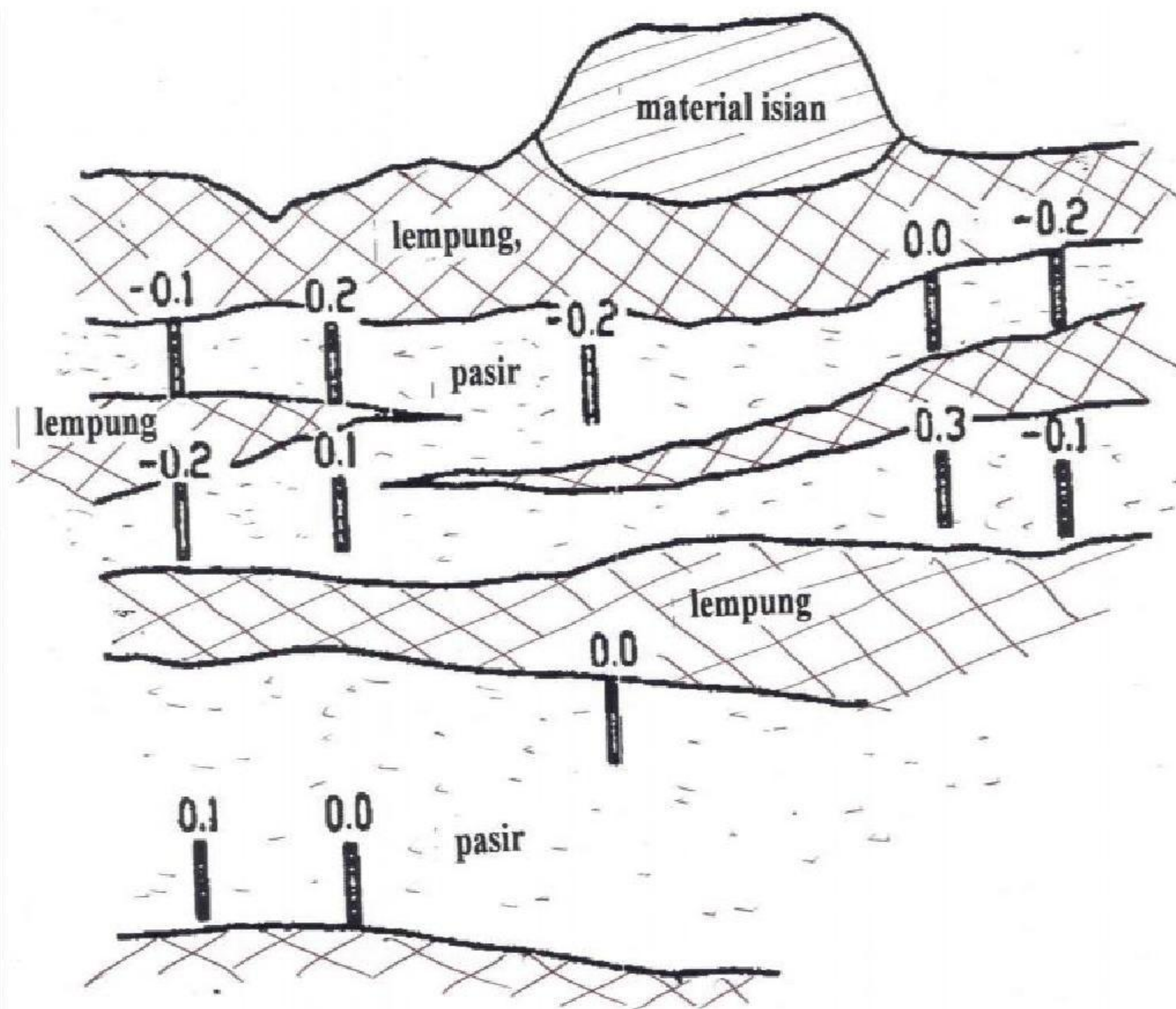
Gambar B.2 Contoh grafik sebaran tinggi tekan pisometrik yang terukur dengan hasil simulasi

Contoh korelasi spasial

Pada Gambar B.3, dan B.4 diperlihatkan contoh plot dari nilai residual dalam denah, dan penampang. Dalam Gambar B.3 terdapat data yang cukup untuk membuat kontur nilai residual. Kontur ini menunjukkan suatu korelasi signifikan yang potensial antarnilai residual di daerah sudut barat laut, dan barat daya dari model. Sepanjang sungai nilai residual tampak tidak mempunyai korelasi. Pada Gambar B.4 nilai residual tidak dibuat konturnya karena terlalu jarang, dan tampak kekurangan korelasi.



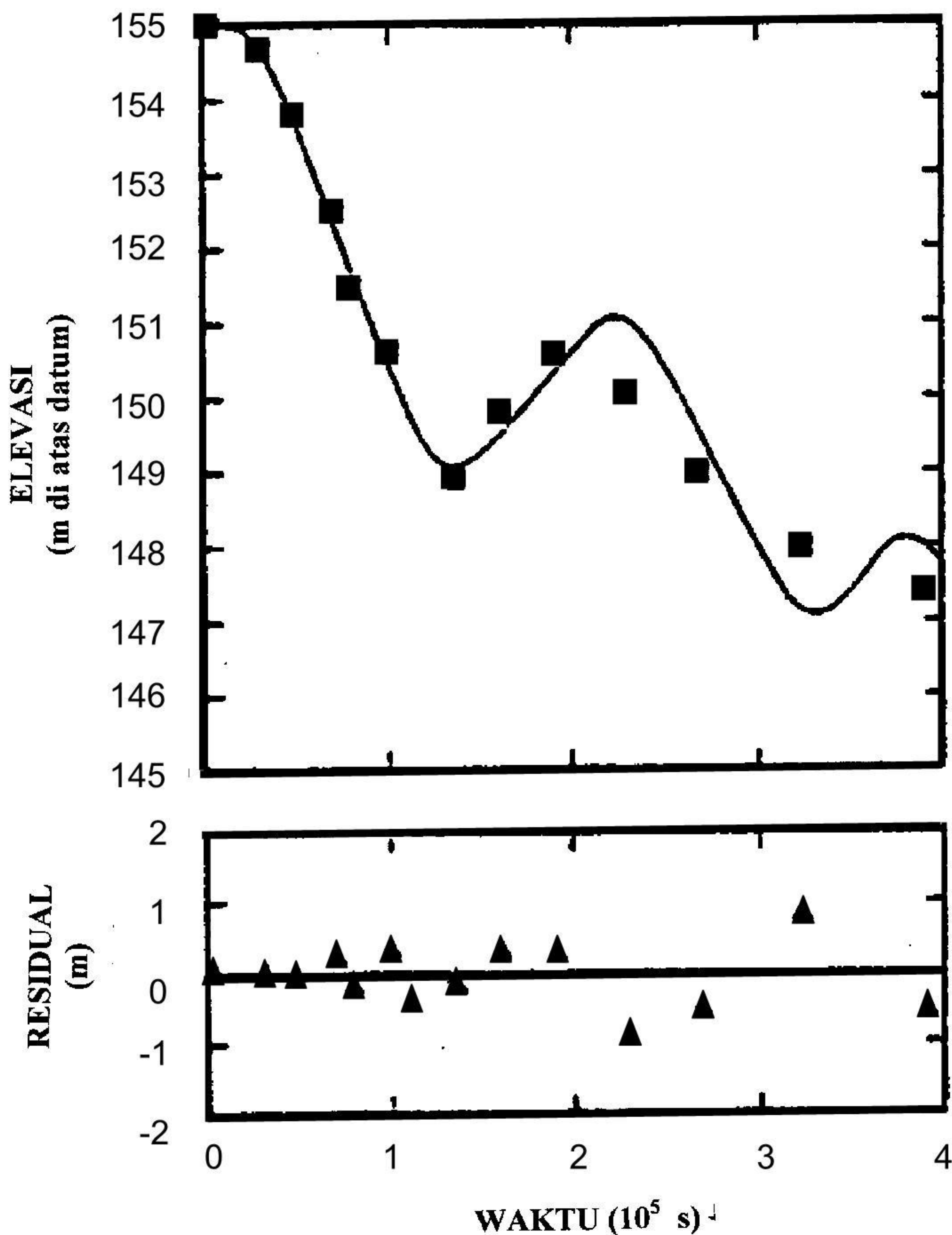
Gambar B.3 Contoh denah lokasi sumur, dan kontur nilai residual



Gambar B.4 Contoh penampang melintang dengan letak pipa penyaring sumur pengamatan, dan nilai residual tinggi tekan pisometrik

Contoh korelasi temporal

Gambar B.5 menunjukkan suatu contoh tinggi tekan potensimetrik yang diukur, dan yang disimulasikan serta nilai residual untuk satu sumur, dan untuk simulasi tak langgeng. Gambar yang teratas menunjukkan tinggi tekan potensimetrik pada sumur yang diukur dengan menggunakan suatu transduser tekanan yang dihubungkan dengan *data logger*. Sebagai tambahan, tinggi tekan potensimetrik simulasi untuk periode waktu yang sama juga diperlihatkan. Gambar terbawah menunjukkan nilai residual. Contoh ini memberi gambaran nilai residual tanpa korelasi bisa muncul di dalam suatu model yang tidak mewakili karakteristik esensial sistem hidrogeologi fisik.



Bibliografi

Anonymous, 1986. *Groundwater Modeling of Southern Bali*. Final Report. Bandung: Institute of Hydraulic Engineering.

ESCAP, 1993. *Computer Applications for Groundwater Assessment and Management*. Water Resources Series No 73. New York: United Nations.

Kruseman, G.P., dan de Ridder, N.A., 1989. *Analysis and Evaluation of Pumping Test Data*. Wageningen: ILRI publication 47

Paolo, B., 1982. *Madiun - Solo Basin Multi Artesian Groundwater System. Manual of Computerized Methematical Model*. Jakarta: Directorate General of Water Resources Development.

